

2010年12月、筑波大学の研究グループは、物質表面のナノメートル領域での高速光応答現象を観察する技術を報告した。走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いて、レーザパルスに対するトンネル電流の変化を測定することで、原子サイズでの観測ができる。研究グループは、高速の光応答現象を観察するため、2つの超短レーザパルスを短い時間間隔で照射するポンプ・プローブ法の研究を進めた結果、緩和時間が $10^{-7} \sim 10^{-12}$ 秒の広い範囲にわたる光応答現象を 1nm の空間分解能で観察することができた。

トピックス4 ナノメートル領域での高速光応答現象を観察する技術

物質表面のナノメートル領域の高速な光応答現象を観察する技術が、筑波大学の研究グループから2010年12月に報告された¹⁾。

物質表面の微小な部分での光応答現象の観測には、レーザが照射された表面を、走査型トンネル顕微鏡 (STM) を利用して観察する技術が研究されてきた。STM は先端が尖った探針と呼ばれる金属性チップの先端を物質表面に近づけ、探針と物質に流れるトンネル電流の変化を検出して、表面を原子サイズで観察する方法である。STM を利用することで、広い範囲に励起光が照射されていても原子サイズの位置分解能が得られるが、トンネル電流は微弱であることから 10^{-5} 秒以上の時間平均処理が必要であるため、高速現象を観察することができない。

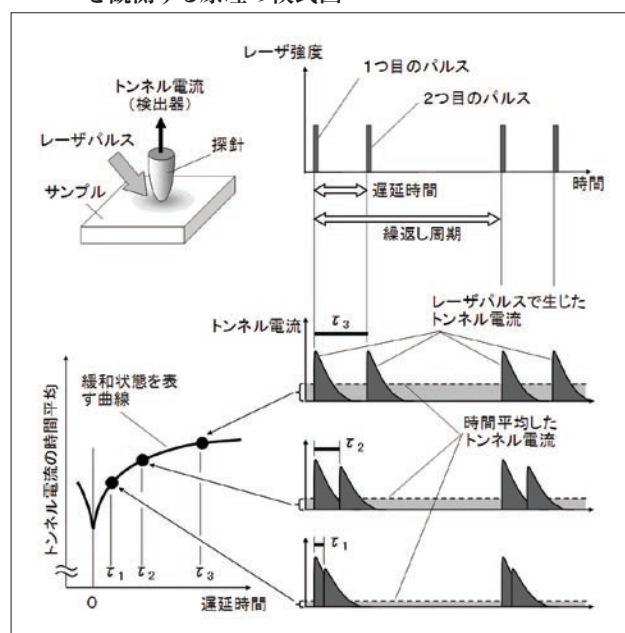
そこで、筑波大学の研究グループは、高速現象を観察するために、2つのレーザパルスを短い時間間隔で照射するポンプ・プローブ法の応用を進めてきた。1つ目のレーザパルスにより物質中の電子やホールが励起されるとトンネル電流が変化する。ところが励起された電子やホールが完全に緩和する前に2つ目のレーザパルスを照射すると、2つ目のパルスの影響は1つ目と同じではない。つまり、トンネル電流の変化は2つ目のパルスの時点での緩和の状態に影響される。このため、2つ目のパルスまでの遅延時間を少しずつ変えながらトンネル電流を測定することで緩和過程の時間変化が追跡できる (図表)。

ただし、レーザ照射でサンプルや探針の温度が変化すると、サンプル表面と探針の距離が変わるためにトンネル電流が大きく変化し、正しい信号が得られない。研究グループはパルス発生方法と検出方法を改良し、

時間当たりのパルス数は一定に保ちつつ遅延時間だけが変化するようにし、サンプルや探針の温度変化の影響を回避した。その結果、緩和時間が $10^{-7} \sim 10^{-12}$ 秒の広い範囲にわたる光応答現象を 1nm の空間分解能で観察することができた。

なお、レーザパルスではなく電流パルスを用いるポンプ・プローブ法による観測方法が、2010年9月に米国とスイスの共同研究グループから報告されている²⁾。磁気的な異方性がある探針を通して2つの電流パルスを磁性微粒子に加え、電流パルスで励起された磁性状態の緩和を観察し、 10^{-7} 秒程度の緩和時間が測定できた。

図表 STM を利用したポンプ・プローブ法による緩和現象を観測する原理の模式図



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参 考

- 1) Y. Terada et al., "Real-space imaging of transient carrier dynamics by nanoscale pump-probe microscopy", Nature Photon., vol. 4, 869 (2010)
- 2) S. Loth et al., "Measurement of Fast Electron Spin Relaxation Times with Atomic Resolution", Science, Vol. 239, 1628 (2010)